

**ANALISIS KINERJA PROTEKSI RELAI DIFERENSIAL PADA
TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK 150 KV BLORA
MENGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 12.6.0**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program studi strata I pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh :

**ANDREAS HENDRATMOKO
D400170093**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS KINERJA PROTEKSI RELAI DIFERENSIAL PADA
TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK 150 KV BLORA
MENGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 12.6.0**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

ANDREAS HENDRATMOKO
D400170093

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing,


Agus Supardi, S.T., M.T
NIK. 883

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KINERJA PROTEKSI RELAI DIFERENSIAL PADA
TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK 150 KV BLORA
MENGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 12.6.0**

OLEH

ANDREAS HENDRATMOKO

D400170093

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 31 Juli 2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

- 1. Agus Supardi, S.T, M.T
(Ketua Dewan Penguji)**
- 2. Umar, S.T, M.T
(Anggota I Dewan Penguji)**
- 3. Aris Budiman, S.T, M.T
(Anggota II Dewan Penguji)**

(.....)
(.....)
(.....)



Dekan,

Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D

NIK. 892

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 31 Juli 2021

Penulis



ANDREAS HENDRATMOKO

D400170093

ANALISIS KINERJA PROTEKSI RELAI DIFERENSIAL PADA TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK 150 KV BLORA MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6.0

Abstrak

Dalam setiap peralatan sistem tenaga listrik dibutuhkan suatu sistem yang dapat menjaga apabila terjadi gangguan. Karena pentingnya transformator daya pada sistem transmisi, maka harus dilindungi dari adanya gangguan yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada jaringan beserta peralatannya. Sistem proteksi menggunakan relai diferensial biasa digunakan pada transformator daya. Relai diferensial merupakan alat pengaman terhadap hubung singkat yang prinsip kerjanya yaitu membandingkan arus yang masuk pada relai dan arus yang keluar dari relai. Relai diferensial dapat mendeteksi apabila terjadi gangguan pada transformator daya dan membuat *circuit breaker* bekerja untuk memutus rangkaian. Relai diferensial akan memproteksi dengan optimal apabila *setting* yang digunakan sudah benar, nilai *setting* yang tepat dapat menunjang kinerja dari sistem proteksi berjalan dengan baik. Pada penelitian ini menggunakan beberapa metode yaitu dengan pengambilan data yang dilakukan di gardu induk 150 kV Blora dengan data yang didapat diolah dengan menggunakan perhitungan matematis dan dengan mensimulasikan kinerja dari relai diferensial dengan *software ETAP 12.6.0*. Dalam perhitungan matematis dilakukan dengan melalui beberapa perhitungan diantaranya perhitungan menentukan rasio CT, perhitungan *error mismatch*, perhitungan arus sekunder pada CT, perhitungan arus diferensial, perhitungan arus *restrain*, perhitungan persentase *slope*, dan perhitungan arus *setting*. Untuk rasio CT yang didapat dari hasil perhitungan matematis adalah CT primer sebesar 300:5 A sedangkan CT sekunder sebesar 2000:5 A, nilai tersebut didapatkan dengan mempertimbangkan CT yang ada di pasaran dan juga disesuaikan dengan yang digunakan di gardu induk Blora. Hasil nilai arus *setting* diperoleh dengan perhitungan matematis yaitu 0,48 A, sementara arus diferensial yang didapat dari perhitungan matematis adalah sebesar 0,48 A. Hasil dari simulasi kinerja relai diferensial menggunakan ETAP pada gangguan internal menunjukkan relai diferensial bekerja pada waktu 0 ms, lalu CB bekerja di waktu 40 ms dan 50 ms. Hasil dari simulasi gangguan eksternal yaitu relai diferensial tidak mendeteksi adanya gangguan dan tidak bekerja tetapi ada dua relai OCR yang bekerja, yaitu relai 3 pada waktu 18 ms dan memerintahkan CB untuk bekerja pada waktu 68 ms dan relai 1 pada waktu 90,2 dan memerintahkan CB untuk bekerja pada waktu 130 ms.

Kata Kunci: gangguan, proteksi, relai diferensial, transformator daya.

Abstract

In every electrical power system equipment, a protection or safety system is needed to maintain in the event of a disturbance. Including the power transformer itself. Because of the importance of the power transformer in the transmission system, it must be protected from interference that causes damage to the network and its equipment. One of the protection systems that can be used on power transformers is differential relay. The differential relay is a safety device against short circuits whose working principle is to compare the incoming and outgoing currents. The differential relay can detect a fault in the transformer and will instruct the circuit breaker to trip. The differential relay can work well if the settings used are correct, the accuracy in determining the differential relay settings can support the performance of the protection system itself. The method used in this research is data retrieval conducted at the Blora substation 150kV with the data obtained processed using mathematical calculations and by simulating the performance of the differential relay with ETAP 12.6.0. The mathematical calculations are carried out by going through several calculations including current transformer ratio

calculations, mismatch error calculations, secondary current calculations on current transformer, differential current calculations, restrain current calculations, slope percentage calculations, and setting current calculations. For the CT ratio obtained from the results of mathematical calculations, the primary CT is 300:5 A while the secondary CT is 2000:5 A, this value is obtained by considering the CTs on the market and also adjusted to those used at the Blora substation. The setting current value obtained from the results of mathematical calculations is 0.48 A, while the differential current obtained from mathematical calculations is 0.48 A. The results of the differential relay performance simulation using ETAP on internal faults show that the differential relay works at 0 ms and instructs CB to trip at 40 ms and 50 ms. The results of the simulation of external disturbances are that the differential relay does not detect any disturbance and does not work but there are two OCR relays that work, namely relay 3 at 18 ms and ordering CB to work at 68 ms and relay 1 at 90.2 and ordering CB to work on 130 ms.

Keywords: disturbance, protection, differential relay, power transformer.

1. PENDAHULUAN

Listrik adalah suatu energi yang digunakan setiap manusia di masa modern seperti ini. Penggunaan listrik sudah menjadi hal yang lumrah bagi setiap individu, termasuk juga dengan penggunaan energi listrik untuk kalangan industri yang biasanya membutuhkan listrik yang besar, maka kebutuhan tersebut harus disediakan oleh perusahaan penyedia listrik dengan pasokan yang besar untuk memenuhi permintaan yang ada. Gangguan yang terjadi saat penyaluran daya yang dilakukan perusahaan penyedia listrik menyebabkan terputusnya pelayanan kepada masyarakat. Gangguan tersebut bisa saja menyebabkan terjadinya kebakaran dan juga membuat kerusakan pada alat – alat listrik yang ada seperti turbin, transformator daya, maupun generator. Ketika terjadi gangguan tersebut maka sistem proteksi sangat berguna dalam mengamankan sistem tenaga listrik dan membuat agar gangguan tidak meluas. Dalam penyaluran daya listrik harus melewati beberapa tahapan yaitu dimulai dari pusat pembangkit lalu disalurkan menuju tahapan transmisi dan kemudian menuju tahapan distribusi lalu disalurkan kepada masyarakat.

Gardu induk merupakan subsistem dari sistem transmisi tenaga listrik, gardu induk mempunyai fungsi yaitu berfungsi sebagai pengatur aliran daya listrik yang kemudian disalurkan pada saluran transmisi yang satu ke saluran transmisi yang lain. Ada beberapa komponen utama yang dapat menunjang pengoperasian dari gardu induk itu sendiri, salah satunya yaitu transformator daya. Transformator daya merupakan peralatan listrik yang mempunyai fungsi untuk mentransformasikan tegangan ke tegangan yang lain dengan frekuensi yang sama. Transformator yang dipasang pada gardu induk seringkali mengalami beberapa gangguan yang dapat merusak bagian dari transformator tersebut, baik gangguan hubung singkat, gangguan *thermal*, dan juga gangguan mekanik yang biasanya disebabkan dari

kesalahan yang menyebabkan berubahnya nilai parameter (Saad et al., 2015), sehingga harus selalu dilengkapi dengan peralatan pengaman yang dapat mencegah setiap gangguan yang terjadi pada transformator daya. Melindungi sistem semacam itu merupakan tugas yang sangat kompleks dan penting. Statistik kecelakaan dalam EPS (*Electric Power Systems*) mengkonfirmasi hal ini: sekitar 25% dari kecelakaan serius disebabkan oleh relai proteksi yang salah dan otomatisasi EPS (Andreev et al., 2017). Skema proteksi transformator daya harus beroperasi hanya dengan hubung singkat internal dan harus tidak sensitif terhadap gangguan di luar zona perlindungan. Ini berarti bahwa sistem seharusnya tidak berfungsi jika terjadi kesalahan eksternal (Lae & Khaing, 2019). Jika transformator daya mengalami gangguan maka diperlukan penghentian layanan transformator secepat mungkin sehingga dapat meminimalkan kerusakan, biaya untuk perbaikan transformator pun mungkin akan sangat tinggi (El-Bages, 2011). Relai dan pemutus sirkuit merupakan inti dari sistem daya interkoneksi modern yang besar. Koordinasi relai yang tepat sangat penting untuk meminimalkan pemadaman yang tidak perlu (Patel et al., 2015).

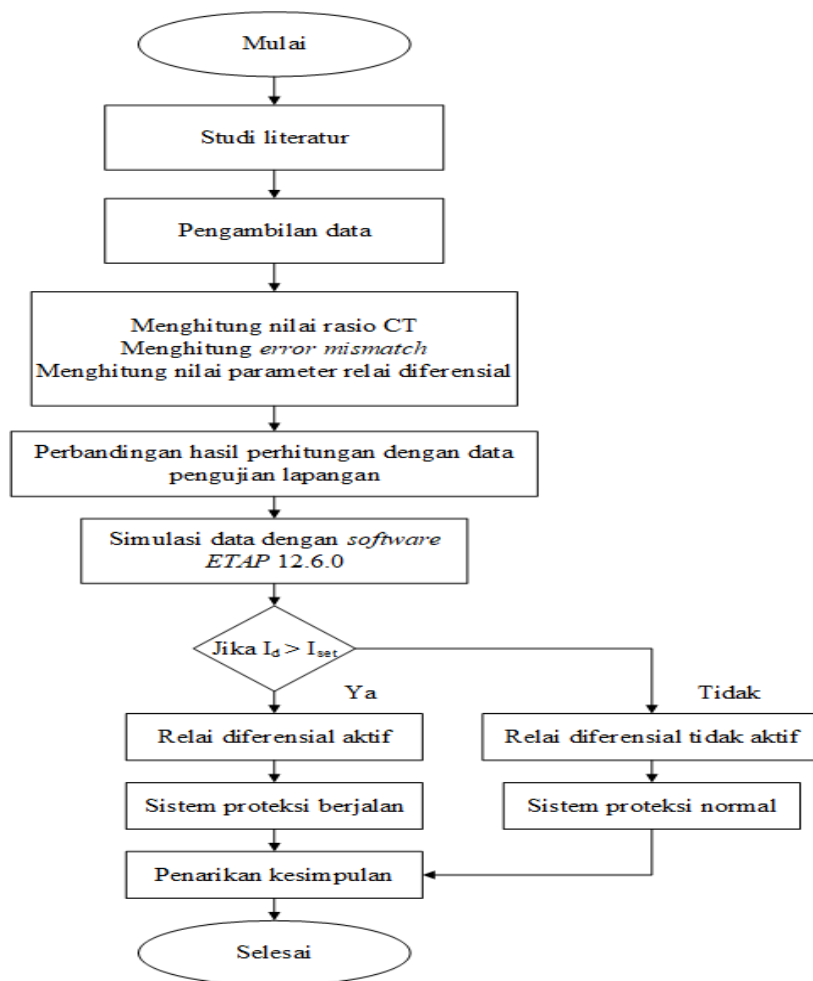
Relai diferensial merupakan alat pengaman terhadap hubung singkat yang merupakan pengaman utama dalam memproteksi transformator daya, selain itu dijadikan pengaman utama karena cara kerjanya yang selektif dan secara cepat dan juga tidak memerlukan time delay. Relai ini tidak bisa dijadikan sebagai relai cadangan karena penempatan dari relai diferensial ini dibatasi oleh *current transformers* di sisi primer dan *current transformers* di sisi sekunder. Relai diferensial dapat mengetahui gangguan pada transformator dan akan memerintahkan pemutus tenaga (PMT) untuk bekerja atau *trip*. Relai diferensial juga tidak memerlukan koordinasi dengan relai lainnya untuk bekerja. Salah satu metode yang paling efektif untuk memproteksi transformator daya adalah metode *differential protection* dengan menggunakan sirkuit relai diferensial (Chukwudi, 2016).

Prinsip kerja relai diferensial adalah dengan menggunakan prinsip keseimbangan, prinsip ini seperti hukum Kirchoff yaitu membandingkan arus yang masuk pada relai dengan arus yang keluar dari relai. Tujuan dari analisa ini adalah untuk mengetahui kinerja dari relai diferensial ketika ada gangguan pada daerah internal dan pada daerah eksternal. Relai diferensial akan bekerja ketika ada gangguan yang berada di zona pengamannya karena arus yang mengalir pada relai lebih besar dari arus *setting* yang ditetapkan, dan saat terjadi gangguan eksternal arus mengalir lebih kecil dari arus *setting* maka relai tidak dapat bekerja (Primawati, 2019). Relai diferensial sederhana mempunyai beberapa kekurangan saat beroperasi seperti karakteristik CT yang tidak seimbang apabila terjadi gangguan eksternal yang menyebabkan tegangan di setiap

sekunder CT, dan juga *magnetizing inrush current* yang menyebabkan relai beroperasi dalam keadaan normal (Nashirin, 2020).

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini adalah analisis data dan pengolahan data. Beberapa data yang dibutuhkan untuk menunjang pengerjaan penelitian ini adalah data *name plate* transformator, data parameter relai diferensial, dan data *single line diagram*. Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur mencari jurnal serupa dengan judul dari penelitian ini, kemudian melakukan pengambilan data yang diperlukan dari gardu induk 150 kV PT. PLN (Persero) Blora, lalu menghitung rasio CT (*Current Transformers*), *error mismatch*, dan nilai parameter relai diferensial, kemudian membandingkan hasil perhitungan matematis dengan data pengujian lapangan, lalu mensimulasikan kinerja dari relai diferensial menggunakan *software ETAP 12.6.0*, setelah itu menyimpulkan hasil dan pembahasan dari penelitian. Berikut merupakan proses dalam metode penelitian yang dijalankan untuk membuat penelitian ini, ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini merupakan pengolahan data secara perhitungan matematis dan juga hasil simulasi kinerja dari relai diferensial yang sudah didapat di gardu induk 150 kV Blora.

3.1 Data *Name Plate* Gardu Induk 150 kV Blora

Tabel 1. Data transformator daya di gardu induk 150 kV Blora

Merek	UNINDO
Nomor serial	P060LEC764-11
Kapasitas trafo	60 MVA
Tegangan sisi primer	150 kV
Tegangan sisi sekunder	20 kV
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	13,12 %
Sambungan	Ynyn0+d
Fasa	3
<i>Cooling</i>	ONAN/ONAF
Jenis Minyak	IEC 296

Tabel 2. Data *current transformer* sisi 150 kV

Merek	ALSTOM
Tipe	OSKF-170
Nomor seri fasa R	37994003259
Nomor seri fasa S	37994003260
Nomor seri fasa T	37994003261
Rasio CT	300/5 A

Tabel 3. Data *current transformer* sisi 20 kV

Merek	TRAFINDO
Tipe	CTB-24-2
Nomor seri fasa R	13CI 09276

Nomor seri fasa S	13CI 16729
Nomor seri fasa T	13CI 09243
Rasio CT	2000/5 A

Tabel 4. Data relai diferensial

Merek	ABB
Tipe	RET 670
Nomor seri	T0838089
Bay	Trafo 1
Arus nominal	5 A
Arus <i>setting</i>	0,3 A
<i>Setting slope 1</i>	30%
<i>Setting slope 2</i>	70%

Tabel 5. Hasil pengujian arus minimum *pick up* sisi HV

No	<i>Setting</i> arus (A)	Injeksi fasa	<i>Indication</i>	<i>Pick up</i> (A)
1	1,15	Fasa R	<i>Diff trip start L1</i>	1,75
2	1,15	Fasa S	<i>Diff trip start L2</i>	1,75
3	1,15	Fasa T	<i>Diff trip start L3</i>	1,75

Tabel 6. Hasil pengujian arus minimum *pick up* sisi LV

No	<i>Setting</i> arus (A)	Injeksi fasa	<i>Indication</i>	<i>Pick up</i> (A)
1	1,299	Fasa R	<i>Diff trip start L1</i>	1,97
2	1,299	Fasa S	<i>Diff trip start L2</i>	1,97
3	1,299	Fasa T	<i>Diff trip start L3</i>	1,97

Tabel 7. Hasil uji karakteristik

Fasa R (A)					
I_1	0,5	1	1,5	2	2,5
$I_2 = I_1 + I_d$	2,53	3,09	3,65	4,21	4,78
$I_f = (I_1 + I_2)/2$	1,515	2,045	2,575	3,105	3,64
$I_d \equiv I_1 - I_2$	2,03	2,09	2,15	2,21	2,28
Fasa S (A)					
I_1	0,5	1	1,5	2	2,5
$I_2 = I_1 + I_d$	2,51	3,07	3,63	4,21	4,78
$I_f = (I_1 + I_2)/2$	1,505	2,035	2,565	3,105	3,64
$I_d \equiv I_1 - I_2$	2,01	2,07	2,13	2,21	2,28
Fasa T (A)					
I_1	0,5	1	1,5	2	2,5
$I_2 = I_1 + I_d$	2,53	3,09	3,65	4,21	4,78
$I_f = (I_1 + I_2)/2$	1,515	2,045	2,575	3,105	3,64
$I_d \equiv I_1 - I_2$	2,03	2,09	2,15	2,21	2,28

3.2 Perhitungan Matematis

Dalam menentukan *setting* relai diferensial diperlukan beberapa perhitungan diantaranya menghitung nilai rasio CT, *error mismatch*, mencari arus sekunder pada CT, perhitungan arus diferensial, arus *restrain* (penahan), menentukan *percent slope*, menentukan nilai arus *setting* relai diferensial, dan perhitungan ketika terjadi gangguan pada relai diferensial.

3.2.1 Perhitungan Untuk Menentukan Rasio *Current Transformers*

Relai diferensial bertumpu pada karakteristik dari CT, jika karakteristik dari CT yang digunakan baik maka relai diferensial akan bekerja dengan baik, untuk mencari rasio CT dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{\text{rating}} = 110\% \times I_{\text{nominal}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$I_{n1} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_1} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$I_{n2} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dengan :

I_{n1} = Arus nominal di sisi primer (A)

I_{n2} = Arus nominal di sisi sekunder (A)

S = Daya tersalur (MVA)

V_1 = Tegangan pada sisi primer (V)

V_2 = Tegangan pada sisi sekunder (V)

Arus nominal pada sisi primer 150 kV

$$I_{n1} = \frac{60.000.000}{\sqrt{3} \times 150.000}$$

$$I_{n1} = \frac{60.000.000}{259.807,62}$$

$$I_{n1} = 230,940 \text{ A}$$

Arus nominal pada sisi sekunder 20 kV

$$I_{n2} = \frac{60.000.000}{\sqrt{3} \times 20.000}$$

$$I_{n2} = \frac{60.000.000}{34.641,01}$$

$$I_{n2} = 1.732,051 \text{ A}$$

Arus *rating* pada sisi primer 150 kV

$$I_{rating} = 110\% \times 230,940 \text{ A}$$

$$I_{rating} = 254,043 \text{ A}$$

Perhitungan arus *rating* pada sisi primer adalah sebesar 254,043 A, maka rasio CT yang digunakan berdasarkan nilai arus *rating* tersebut adalah 300:5 A.

Arus *rating* pada sisi sekunder 20 kV

$$I_{rating} = 110\% \times 1.732,051 \text{ A}$$

$$I_{rating} = 1905,256 \text{ A}$$

Perhitungan arus *rating* pada sisi sekunder adalah sebesar 1905,256 A, maka rasio CT yang digunakan berdasarkan nilai arus *rating* tersebut adalah 2000:5 A. Nilai rasio CT didapatkan dengan mencari arus nominal pada sisi primer dan sisi sekunder, dimana hasil yang didapat untuk arus nominal pada sisi primer adalah 230,94 A sedangkan arus nominal pada sisi sekunder adalah 1732,051 A. Hasil perhitungan menentukan rasio CT mendapatkan nilai dengan rasio CT pada sisi primer atau CT₁ sebesar 300:5 A dan pada sisi sekunder atau CT₂ sebesar

2000:5 A. Penentuan rasio CT ini diambil dari melihat nilai arus *rating* dan juga melihat nilai rasio CT yang terdapat di pasaran dan juga sama dengan yang digunakan di gardu induk 150 kV Blora.

3.2.2 Perhitungan *Error Mismatch*

Error mismatch merupakan kesalahan ketika membaca arus serta tegangan pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator daya.

$$CT_1 \text{ ideal} = CT_2 \times \frac{V_2}{V_1} \quad (4)$$

$$CT_2 \text{ ideal} = CT_1 \times \frac{V_1}{V_2} \quad (5)$$

$$Error \text{ mismatch} = \frac{CT \text{ ideal}}{CT \text{ terpasang}} \% \quad (6)$$

Dengan :

CT ideal = *Current transformer* ideal (A)

CT terpasang = *Current transformer* yang terpasang (A)

V_1 = Tegangan pada sisi primer (V)

V_2 = Tegangan pada sisi sekunder (V)

Error mismatch di sisi 150 kV

$$CT_1 \text{ ideal} = \frac{2000}{5} \times \frac{20}{150} = 400 \times 0,13 = 53,33 \text{ A}$$

$$Error \text{ mismatch} = \frac{53,33}{300} \%$$

$$Error \text{ mismatch} = 0,17\%$$

Error mismatch di sisi 20 kV

$$CT_2 \text{ ideal} = \frac{300}{5} \times \frac{150}{20} = 60 \times 7,5 = 450 \text{ A}$$

$$Error \text{ mismatch} = \frac{450}{2000} \%$$

$$Error \text{ mismatch} = 0,22\%$$

Hasil dari perhitungan CT_1 ideal adalah 53,33 A dan menghasilkan nilai *error mismatch* sebesar 0,17% dimana artinya masih normal karena tidak melebihi 5%. Hasil perhitungan dari CT_2 ideal adalah 450 A dan menghasilkan *error mismatch* sebesar 0,22% yang artinya masih normal karena tidak melebihi standar yang ditentukan yaitu 5%.

3.2.3 Perhitungan Arus Sekunder Pada CT

Arus sekunder CT yaitu arus yang terbaca oleh transformator daya dan merupakan keluaran arus yang berasal dari CT, untuk mencari arus sekunder pada CT dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{\text{Rasio CT}} \times I_{\text{nominal}} \quad \dots\dots(7)$$

Dengan :

I_{sekunder} = Arus sekunder pada CT (A)

I_{nominal} = Arus nominal (A)

Arus sekunder di sisi primer 150 kV

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{300/5} \times 230,94 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{60} \times 230,94 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder}} = 3,849 \text{ A}$$

Arus sekunder di sisi sekunder 20 kV

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{2000/5} \times 1.732,05 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder}} = \frac{1}{400} \times 1.732,05 \text{ A}$$

$$I_{\text{sekunder}} = 4,33 \text{ A}$$

Perhitungan untuk mencari arus sekunder pada CT dengan menghitung arus yang keluar pada kedua CT sisi primer 150 kV dan sisi sekunder 20 kV. Hasil perhitungan pada sisi primer 150 kV yaitu 3,849 A sedangkan hasil perhitungan dari sisi sekunder 20 kV adalah 4,33 A.

3.2.4 Perhitungan Arus Diferensial

Arus diferensial merupakan selisih arus dari sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah.

$$I_{\text{dif}} = I_2 - I_1 \quad \dots\dots(8)$$

Dengan :

I_{dif} = Arus diferensial (A)

I_1 = Arus sekunder CT₁ pada sisi primer (A)

I_2 = Arus sekunder CT₂ pada sisi sekunder (A)

$$I_{\text{dif}} = 4,33 \text{ A} - 3,849 \text{ A}$$

$$I_{\text{dif}} = 0,48 \text{ A}$$

Hasil dari perhitungan untuk mencari arus diferensial mendapatkan hasil selisih antara arus sekunder CT₁ dengan arus sekunder CT₂ yaitu 0,48 A. Arus diferensial ini akan menjadi

pembandingan dengan arus *setting*. Pada dasarnya disaat relai diferensial berada pada kondisi normal selalu ada arus kecil yang mengalir pada relai, hal itu dikarenakan adanya perbedaan arus magnetisasi pada kedua CT (Albihar, 2020)

3.2.5 Perhitungan Arus *Restraining* (Penahanan)

Arus *restrain* merupakan arus penahanan berguna dalam parameter kerja dari relai diferensial

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

Dengan :

I_r = Arus *restrain* / penahanan (A)

I_1 = Arus sekunder pada CT₁ (A)

I_2 = Arus sekunder pada CT₂ (A)

$$I_r = \frac{3,849 + 4,33}{2}$$

$$I_r = 4,08 \text{ A}$$

Hasil dari perhitungan arus *restrain* adalah sebesar 4,08 A, nilai dari arus *restrain* ini digunakan untuk parameter relai diferensial untuk mengidentifikasi asal dari arus ini apakah berasal dari gangguan internal atau gangguan eksternal.

3.2.6 Perhitungan *Percent Slope*

Slope 1 berfungsi untuk mengatur arus diferensial supaya dapat berfungsi apabila terjadi gangguan internal, begitu juga dengan *slope 2* digunakan untuk memastikan agar relai tidak bekerja apabila terjadi gangguan eksternal.

Rumus untuk menentukan *percent slope 1* :

$$slope_1 = \frac{I_d}{I_r} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(10)$$

Rumus untuk menentukan *percent slope 2* :

$$slope_2 = \left(\frac{I_d}{I_r} \times 2\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dengan :

$Slope_1$ = *Setting slope 1* (%)

$Slope_2$ = *Setting slope 2* (%)

I_d = Arus diferensial (A)

I_r = Arus *restrain* / penahanan (A)

Menentukan *percent slope 1*

$$slope_1 = \frac{0,48}{4,08} \times 100 \%$$

$$slope_1 = 11,7 \%$$

Menentukan percent slope 2

$$slope_2 = \left(\frac{0,48}{4,08} \times 2 \right) \times 100 \%$$

$$slope_2 = 23,5 \%$$

Hasil yang didapatkan pada perhitungan untuk menentukan *percent slope* yaitu untuk *slope 1* nilainya sebesar 11,7 % sedangkan untuk nilai *slope 2* nilainya sebesar 23,5 %, untuk kegunaan dari *slope 1* yaitu untuk mengenali gangguan internal dan menentukan waktu kerja dari relai diferensial. Kegunaan *slope 2* yaitu untuk mengenali gangguan eksternal yang arus gangguan besar maka dari itu nilai dari *slope 2* dibuat lebih besar dari nilai *slope 1*,

3.2.7 Perhitungan Untuk Menentukan Arus Setting

Arus *setting* adalah batasan untuk memutuskan apakah relai diferensial dapat bekerja atau tidak dengan metode membandingkan dengan arus diferensial, untuk menentukan arus *setting* dapat menggunakan rumus seperti di bawah ini :

$$I_{set} = \% slope \times I_r \quad \dots\dots(12)$$

Dengan :

$$I_{set} = \text{Arus setting (A)}$$

$$\% slope = \text{Setting slope (\%)}$$

$$I_r = \text{Arus penahan (A)}$$

$$I_{set} = 11,7 \% \times 4,08$$

$$I_{set} = 0,117 \times 4,08$$

$$I_{set} = 0,48 \text{ A}$$

Hasil dari perhitungan arus setting diferensial didapatkan dengan mengalikan *percent slope 1* dengan arus *restrain*. Hasil yang didapat adalah sebesar 0,48 A, selain itu hasil perhitungan antara nilai arus *setting* dengan nilai arus diferensial sudah sesuai pada kondisi ideal. Nilai arus *setting* ini juga menjadi salah satu penyebab agar relai diferensial bekerja apabila nilai arus diferensial lebih besar daripada arus *setting*.

3.2.8 Perbandingan Data Hasil Perhitungan Matematis dengan Hasil Uji

Nilai – nilai yang dibandingkan adalah hasil dari perhitungan menggunakan metode matematis dengan hasil uji lapangan yang dilakukan di gardu induk 150 kV Blora.

Tabel 8. Perbandingan data hasil perhitungan dengan hasil uji

Id	Perbandingan	
	Hasil perhitungan	Hasil uji
<i>Arus setting</i>	0,48 A	0,3 A
<i>Slope 1</i>	12%	30%
<i>Slope 2</i>	24%	70%

Hasil dari perbandingan perhitungan matematis dengan hasil uji bisa dilihat pada tabel 8, nilai arus *setting* relai diferensial hasil dari perhitungan yaitu 0,48 A sedangkan nilai arus *setting* relai diferensial hasil uji yaitu 0,3 A. Nilai *slope 1* hasil pada perhitungan sebesar 12% sedangkan nilai *slope 1* hasil uji sebesar 30%, untuk nilai *slope 2* pada hasil perhitungan sebesar 24%, sedangkan nilai *slope 2* hasil uji sebesar 70%. Dalam hasil perbandingan ini ada beberapa nilai yang berbeda dikarenakan pada perhitungan matematis tidak memperkirakan adanya arus *inrush* dan juga tidak memperkirakan adanya arus eksitasi.

3.2.9 Perhitungan Gangguan Pada Transformator Daya

Perhitungan ini digunakan untuk membuat perkiraan apakah relai diferensial akan bekerja atau tidak bila diberikan arus gangguan.

$$I_f \text{ relai} = I_f \times CT_2 \quad \text{.....(13)}$$

$$I_2 \text{ fault} = \frac{I_f \text{ relai}}{I_2} \quad \text{.....(14)}$$

$$I_d = I_2 \text{ fault} - I_1 \quad \text{.....(15)}$$

Dengan :

$I_f \text{ relai}$ = Arus gangguan yang dibaca relai (A)

$I_2 \text{ fault}$ = Arus sekunder pada CT 2 ketika terjadi gangguan (A)

I_f = Arus yang melalui relai (A)

I_d = Arus diferensial (A)

CT_2 = Rasio CT_2

I_1 = Arus sekunder CT_1 saat tidak terjadi gangguan (A)

I_2 = Arus sekunder CT_2 saat tidak terjadi gangguan (A)

Arus gangguan pada sisi 20 kV sebesar 6.800 A

$$I_f \text{ relai} = 6.800 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_f \text{ relai} = 17 \text{ A}$$

$$I_{2fault} = \frac{17}{4,33}$$

$$I_{2fault} = 3,92 \text{ A}$$

$$I_d = 3,92 - 3,849$$

$$I_d = 0,071 \text{ A}$$

Dalam hasil perhitungan arus gangguan ini, diberikan arus gangguan di sisi sekunder 20 kV yaitu 6.800 A dan menghasilkan arus diferensial sebesar 0,071 A. Nilai arus diferensial sebesar 0,071 A, maka relai diferensial tidak akan bekerja karena nilai dari relai diferensial lebih kecil daripada nilai arus *setting* dalam perhitungan.

Arus gangguan pada sisi 20 kV 10.000 A

$$I_{f \text{ relai}} = 10.000 \times \frac{5}{2000}$$

$$I_{f \text{ relai}} = 25 \text{ A}$$

$$I_{2fault} = \frac{25}{4,33}$$

$$I_{2fault} = 5,77 \text{ A}$$

$$I_d = 5,77 - 3,849$$

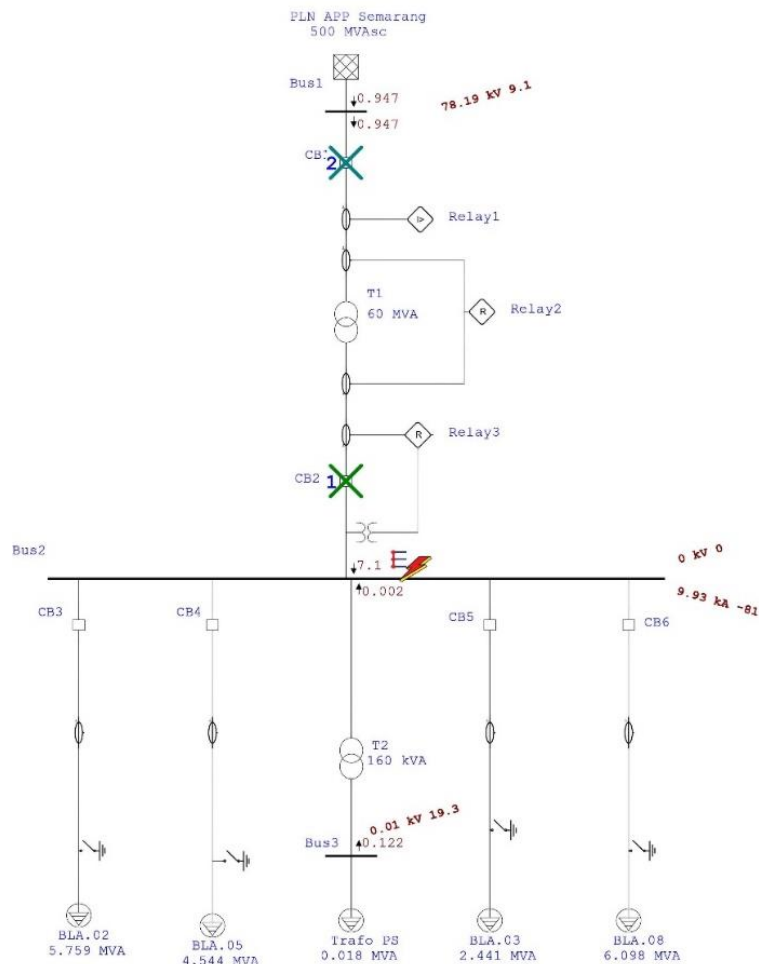
$$I_d = 1,92 \text{ A}$$

Dalam hasil perhitungan arus gangguan ini, diberikan arus gangguan di sisi sekunder 20 kV yaitu 10.000 A dan menghasilkan arus diferensial sebesar 1,92 A. Nilai arus diferensial sebesar 1,92 A maka relai diferensial akan mendeteksi adanya gangguan dan bekerja karena nilai dari relai diferensial lebih besar daripada nilai arus *setting* dalam perhitungan. Relai diferensial akan memerintahkan *circuit breaker* untuk *trip*.

3.3 Simulasi Kinerja Relai Diferensial Menggunakan *Software* ETAP

Simulasi ini dilakukan agar dapat mengetahui bagaimana kinerja dari relai diferensial untuk mengamankan transformator daya yang ada di gardu induk 150 kV Blora apabila terjadi gangguan di dalam daerah pengaman dari relai diferensial maupun di luar daerah pengaman dari relai diferensial.

3.3.1 Simulasi Ketika Terjadi Gangguan Eksternal



Gambar 2. Simulasi kinerja relai diferensial saat terjadi gangguan eksternal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault at Bus2.

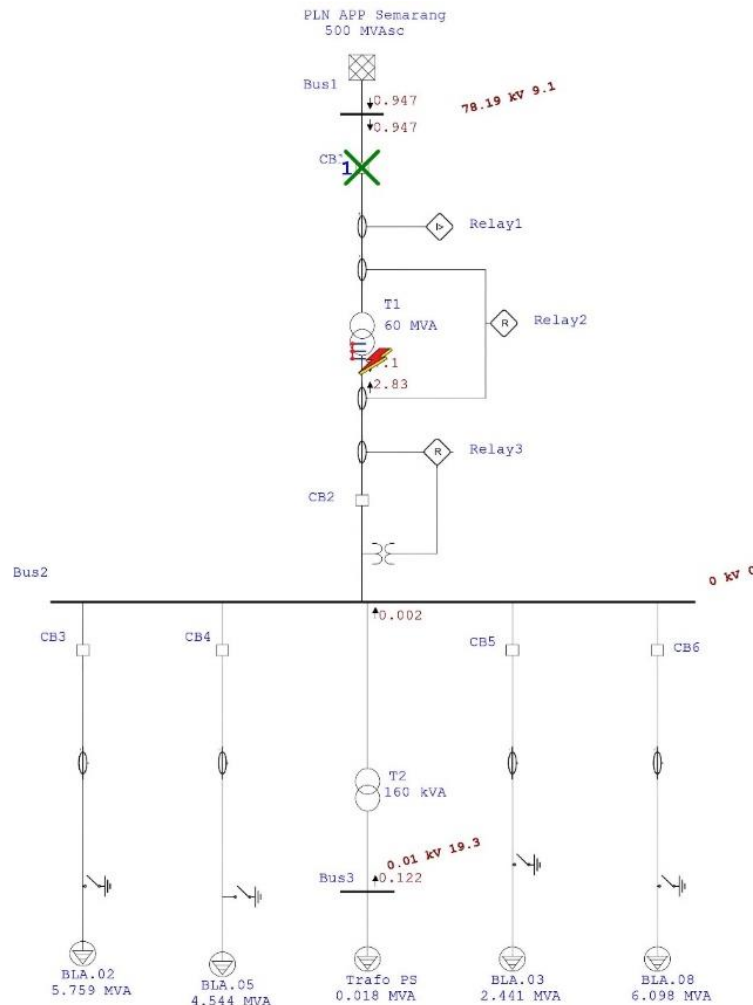
Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
18.0	Relay3	7.103	<18.0		Phase - OC1 - 51
68.0	CB2		50.0		Tripped by Relay3 Phase - OC1 - 51
90.2	Relay1	0.947	90.2		Phase - OC1 - 51
130	CB1		40.0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 51

Gambar 3. Hasil dari simulasi gangguan eksternal

Hasil dari pembahasan simulasi relai diferensial bisa dilihat pada gambar 2 apabila terjadi gangguan pada bus 2 atau di luar daerah pengaman dari relai diferensial, ketika terjadi gangguan 3 fasa pada bus 2 maka CB_2 dan CB_1 akan bekerja dan terbuka. Hasil *report* dari simulasi gangguan eksternal bisa dilihat pada gambar 3, relai yang bekerja hanya relai 3 dan relai 1 yang dimana relai tersebut adalah relai OCR (*Overcurrent Relay*). Relai 3 mendeteksi

adanya I_f sebesar 7,103 kA pada waktu 18 ms dan menginstruksikan CB_2 untuk bekerja pada waktu 68 ms dan membutuhkan waktu untuk membuka yaitu 50 ms. Relai 1 mendeteksi adanya I_f sebesar 0,947 kA pada waktu 90,2 ms dan menginstruksikan CB_1 untuk bekerja pada waktu 130 ms dan membutuhkan waktu untuk membuka yaitu 40 ms. Dalam simulasi ini relai diferensial tidak bekerja karena gangguan 3 fasa berada di luar daerah pengaman dari relai diferensial.

3.3.2 Simulasi Ketika Terjadi Gangguan Internal



Gambar 4. Simulasi kinerja relai diferensial saat terjadi gangguan internal

Sequence-of-Operation Event Summary Report

Symmetrical 3-Phase Fault between T1 and CT2. Adjacent to Bus1.

Time (ms)	ID	If (kA)	T1 (ms)	T2 (ms)	Condition
0.0	Relay2		0.0		Phase - 87
24.8	Relay1	1.925	24.8		Phase - OC1 - 51
40.0	CB1		40.0		Tripped by Relay2 Phase - 87
50.0	CB2		50.0		Tripped by Relay2 Phase - 87
64.8	CB1		40.0		Tripped by Relay1 Phase - OC1 - 51
155	Relay3	2.345	155		Phase - OC1 - 51
205	CB2		50.0		Tripped by Relay3 Phase - OC1 - 51

Gambar 5. Hasil dari simulasi gangguan internal

Hasil dari simulasi bisa dilihat pada gambar 4 terjadi gangguan 3 fasa di daerah pengaman dari relai diferensial, dimana relai diferensial bekerja dan menginstruksikan CB₁ dan CB₂ untuk bekerja. Bisa dilihat pada gambar 5 dimana relai mendeteksi adanya gangguan pada waktu 0 ms dan menginstruksikan CB₁ bekerja pada waktu 40 ms dan juga menginstruksikan CB₂ untuk bekerja pada waktu 50 ms, dibuktikan dengan *condition* yaitu (*tripped by relay2 phase . 87*) yang dimana *relay 2* adalah relai diferensial. Berbeda dengan keadaan apabila terjadi gangguan di luar zona dari pengaman relai diferensial karena relai diferensial hanya bekerja ketika terjadi gangguan di dalam zona pengamannya saja. Relai OCR atau relai 1 juga bekerja pada waktu 24,8 ms dan mendeteksi adanya arus gangguan sebesar 1,925 kA dan memerintahkan CB₁ bekerja pada waktu 64,8 ms, relai 3 mendeteksi adanya arus gangguan sebesar 2,345 kA pada waktu 155 ms dan memerintahkan CB₂ untuk trip pada waktu 205 ms. Keandalan dari relai – relai tersebut cukup bagus karena jarak waktu untuk bekerja cukup jauh.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis kinerja relai diferensial yang telah dilakukan di gardu induk Blora 150 kV, maka dapat ditarik kesimpulan diantaranya :

Arus sekunder pada CT adalah hasil dari keluaran trafo arus, dimana hasil yang didapatkan dalam perhitungan yaitu pada sisi 150 kV yaitu 3,89 A, sedangkan pada sisi 20 kV yaitu 4,33 A. Error mismatch yang didapatkan dalam hasil perhitungan matematis pada sisi 150 kV sebesar 0,17% sementara pada sisi 20 kV sebesar 0,22%. Hasil ini sesuai dengan standar yang ditentukan karena tidak melebihi dari 5%. Nilai percent slope yang didapatkan dari perhitungan matematis yaitu slope 1 sebesar 12%, sedangkan slope 2 sebesar 24%. Nilai arus setting relai diferensial yang didapatkan dari perhitungan matematis adalah 0,48 A. Nilai arus diferensial yang didapatkan dari perhitungan matematis adalah 0,48 A. Perbandingan antara hasil dari perhitungan dengan hasil dari uji lapangan yang dilakukan di gardu induk Blora

nilainya berbeda karena pada perhitungan matematis tidak menyertakan arus inrush dan juga arus eksitasi. Hasil simulasi dengan menggunakan software ETAP memiliki 2 hasil yaitu saat terjadi gangguan internal dan saat terjadi gangguan eksternal. Pada gangguan internal relai diferensial mendeteksi adanya gangguan dan memerintahkan CB untuk trip, sedangkan pada gangguan eksternal relai diferensial tidak bekerja karena relai diferensial tidak bisa mendeteksi gangguan eksternal, tetapi sudah ada relai OCR yang bekerja saat terjadinya gangguan eksternal.

DAFTAR PUSTAKA

- Albihar, A. R. (2020). *Kajian Sistem Proteksi Rele Diferensial Terhadap Gangguan Internal pada Transformator Step-Up 150 kV PLTU Tanjung Priok*. Institut Teknologi PLN.
- Andreev, M., Gusev, A., Sulaymanov, A., & Borovikov, Y. (2017). Setting of relay protection of electric power systems using its mathematical models. *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2017.8260093>
- Chukwudi, A. I. (2016). Differential Protection for Power Transformer Using Relay. *International Journal of Trend in Research and Development*, 3(1), 281–285.
- El-Bages, M. (2011). Improvement of Digital Differential Relay Sensitivity for Internal Ground Faults in Power Transformers. *International Journal on Technical and Physical ...*, 3(8), 1–5. <http://www.ijtp.com/IJTPE/IJTPE-2011/IJTPE-Issue8-Vol3-No3-Sep2011/1-IJTPE-Issue8-Vol3-No3-Sep2011-pp1-5.pdf>
- Lae, N. Y., & Khaing, C. C. (2019). Design and Results of Differential Relay Settings for Power Transformers 80 MVA, 40 MVA and 100 MVA. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*, 2, 32–34.
- Nashirin, A. F. (2020). *Kajian Setting Rele Diferensial pada Generator Unit 6 di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Suralaya*. Institut Teknologi PLN.
- Patel, H. A., Sharma, V. M., & Deshpande, A. (2015). Relay Coordination Using ETAP. *International Journal Of Scientific & Engineering Research*, 6(5), 1583–1588.
- Primawati, E. (2019). *Analisa Pengaturan Proteksi Rele Diferensial Pada Trafo III 60 MVA di Gardu Induk Banyudono 150KV/22KV*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Saad, S. M., Elhaffar, A., & El-Arroudi, K. (2015). Optimizing Differential Protection Settings for Power Transformers. *Proceedings - International Conference on Modern Electric Power Systems, MEPS 2015*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/MEPS.2015.7477186>